ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

Le 25 Mai 1870

POUR OBTENIR LE

DIPLOME DE PHARMACIEN DE 1RE CLASSE

PAR

LÉON LACROIX

Interne des Hôpitaux de Paris

NÉ A PONT-DU-CHATEAU (PUY-DE-DOME)



PARIS

ANCIENNE MAISON GUSTAVE RETAUX

PICHON-LAMY ET DEWEZ, LIBRAIRES-ÉDITEURS

Rue Cujas, 15

1870

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

PRÉPARATIONS

OPIUM

I. Extrait d'opium.

Opium de Smyrne . . .	500 gr.

II. Teinture d'extrait d'opium.

Extrait d'opium	20 gr.
Alcool à 60°.	240 —

III. Sirop d'opium.

Extrait d'opium. . . .	2 gr.
Sirop de sucre	1000 —

IV. Laudanum de Sydenham.

Opium de Smyrne. . .	100 gr.
Safran incisé.	50 —
Cannelle de Ceylan concassée.	8 —
Girofles concassés . . .	8 —
Vin de Malaga	800 —

V. Morphine.

Opium	1000 gr.
Chlorure de calcium fondu.	120 —
Acide chlorhydrique . .	100 —
Ammoniaque.	100 —
Charbon animal lavé . .	250 —
Alcool à 90°	1000 —

I. Bioxyde de cuivre.

Nitrate de cuivre cristallisé	500 gr.

II. Sulfate de cuivre purifié.

Sulfate de cuivre du commerce	500 gr.

III. Sulfate de cuivre ammoniacal.

Sulfate de cuivre . . .	200 gr.
Ammoniaque liquide . .	200 —
Alcool à 90°	400 —

IV. Pierre divine.

Sulfate de cuivre . . .	100 gr.
Nitrate de potasse . . .	100 gr
Alun cristallisé	100 —
Camphre	5 —

V. Cyanure double de potassium et de cuivre.

Sulfate de cuivre cristallisé	200 gr.
Cyanure de potassium .	300 —

Avant d'entrer dans aucune considération au sujet du travail que j'entreprends, je dois adresser mes remercîments et exprimer ma reconnaissance à M. Patrouillard, pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine, qui, avec son obligeance habituelle, a bien voulu mettre son laboratoire à ma disposition ; et à mon ancien chef de service, M. le Dr Vulpian qui m'a toujours prodigué sa bienveillance et ses bons conseils.

Qu'ils veuillent bien recevoir cet hommage de la reconnaissance et le témoignage de la respectueuse ~~mais~~ et sincère affection de leur élève dévoué

L. L.

DE LA LEVURE DE BIÈRE

ET De

LA FeRMENTATION ALCOOLIQUE

INTRODUCTION

—

Le sujet que j'entreprends est sans contredit un des plus intéressants ; mais il est aussi des plus vastes et des plus difficiles. Il se rattache en même temps aux sciences naturelles et chimiques ; il touche à la physique ; il est lié d'une manière intime à la physiologie et à cette question de la génération spontanée qui a donné lieu à de si vives discussions et à des interprétations si différentes.

Ce n'est pas sans hésitations et sans crainte que j'aborde un sujet aussi élevé. Il est trop au-dessus de mes forces pour espérer le traiter comme il le mérite.

Les hommes les plus considérables se sont occupés de cette question. Ils ne sont pas toujours d'accord sur les faits et se sont souvent trouvés en opposition sur l'interprétation de faits que chacun observait de son côté. Ils sont arrivés

à des conclusions très-différentes et quelquefois même complétement opposées.

En entreprenant l'étude de la fermentation alcoolique, je n'ai pas la prétention de mettre à jour cette question encore si obscure et si mystérieuse ; de terminer les discussions qui se sont élevées au sujet du ferment, de sa nature, de son rôle et surtout de son origine. Je veux seulement examiner les faits exposés par les savants qui ont étudié la question et la manière dont ils les ont interprétés.

Si je me hasarde à exposer quelques faits que j'aurai pu observer et si j'en tire des conclusions quelque peu différentes de celles adoptées jusqu'ici, ce n'est qu'après avoir répété plusieurs fois les expériences et avoir bien longtemps réfléchi aux causes et aux circonstances qui peuvent avoir donné naissance à ces faits.

J'éprouve cependant des craintes très-sérieuses et peut-être trop fondées de voir mes opinions écrasées sous l'autorité de tant de savants illustres.

DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

I

On donne le nom de fermentation à une série de phénomènes, qui ont pour résultat la modification ou la transformation d'une matière, dite fermentescible, en produits nouveaux. Cette transformation s'accompagne ordinairement d'un dégagement gazeux et se produit en présence d'un corps organique appelé ferment ; soit que l'on introduise ce corps dans la masse fermentescible, soit qu'il s'y produise *spontanément*.

La fermentation est dite alcoolique, acétique, lactique, etc. suivant que l'un des produits essentiels est de l'alcool, de l'acide acétique, de l'acide lactique etc...

On désigne d'habitude sous le nom de putréfaction la fermentation des matières azotées qui s'accompagnent toujours de la formation de produits sulfurés, phosphorés ou ammoniacaux.

La transformation du sucre en alcool et acide carbonique en présence d'un ferment qui est la levure de bière constitue la forme la plus ordinaire de la fermentation alcoolique. — C'est elle qui fera le sujet de ce travail.

Division du sujet. — Je dirai d'abord quelques mots sur

l'histoire du ferment, puis j'examinerai successivement : sa nature, — son origine et sa production dans les liqueurs qui fermentent, — son rôle et son action ; enfin je terminerai par une étude rapide des produits de la fermentation alcoolique.

II

Historique

En 1680 Leewenhœch avait déjà étudié la levure de bière au microscope, et avait reconnu qu'elle était formée de petits globules sphériques ou ovoïdes. Il n'a rien dit de sa composition chimique.

En 1787, Fabrioni à Florence découvrit que la levure de bière présente dans sa composition chimique de l'analogie avec le gluten et qu'elle donne de l'ammoniaque à la distillation.

En 1803, Thénard dans un mémoire spécial proposé en prix par l'Institut s'occupe de nouveau du ferment, de sa nature de son origine, et de l'altération qu'il éprouve pendant la fermentation.

« Là où il se forme de l'alcool, dit-il, il se forme ordinai-
« rement un dépôt de levure (1). » Et plus loin: « on peut
« annoncer comme une proposition démontrée que dans
« toute fermentation spiritueuse il se dépose une matière

(1) *Ann. de chimie*, 1803, p. 306.

« animale (1) en tout semblable à celle provenant du « mout de bière, jouissant absolument des mêmes proprié- « tés et de celle surtout de décomposer le sucre et de le « convertir en acide carbonique et esprit de vin (2). »

Thénard, ainsi que Fabrioni, considère donc la levure comme une matière azotée donnant de l'ammoniaque à la distillation.

Quant à sa production dans les liqueurs en fermentation, il l'attribue à la réaction d'une matière végétale soluble sur le sucre. « Ce qui parait au moins vraisemblable, dit- « il, c'est que si la levure est un produit de la fermenta- « tion, comme toutes les liqueurs qui fermentent en dé- « posent, elle doit sans doute son origine à une matière « soluble dont elle diffère peu probablement, et qui, par « sa réaction sur le sucre, la produit (3). »

Quant à sa nature, Thénard considère la levure comme un principe immédiat des végétaux, auquel il attribue un grand rôle dans la fermentation.

« Sa saveur est nulle, dit toujours Thénard, il (le fer- « ment) ne rougit pas la teinture de Tournesol, ni ne « verdit le sirop de violettes. » Il éprouve avec le temps la fermentation putride, mais s'il est préalablement dessé- ché, il peut se conserver indéfiniment. Il est à peu près insoluble dans l'eau.

On voit par là que Thénard, tout en émettant quelques idées assez justes sur la nature chimique de la levure, ignore

(1) On considérait alors comme de nature animale toute matière donnant $Az\ H^3$ à la distillation.

(2) *Ann. de chimie*, 1803, p. 307.

(3) *Ann. de chimie*, 1803, p. 308.

2

encore, ou n'a que de vagues soupçons sur son origine et méconnaît sa nature véritable.

Cependant, en considérant la levure comme un produit immédiat des végétaux, Thénard se rapprochait plus de la vérité que Berzélius qui non-seulement a refusé d'admettre son organisation, mais l'a toujours regardée comme un produit chimique *inorganique* qui se précipite dans la fermentation sous la forme ordinaire des précipités non cristallins...........

Vers 1822, la pellicule qui se forme à la surface de la bière attira l'attention du naturaliste Persoon qui l'étudia avec soin et désigna sous le nom de *Mycoderma cerevisiæ* les globules qui la composent.

En 1825, Desmazières reprit l'étude de cette pellicule qu'il reconnut composée de vésicules hyalines ovoïdes. Il remarqua dans ces vésicules des mouvements particuliers, ce qui les lui fit prendre pour des animaux et les rangea parmi les infusoires.

Ce ne fut qu'en 1835 et 1837, que Cagniard de Latour en France, et Schwann en Allemagne, étudièrent la levure de bière proprement dite.

III

De la nature de la levure de bière

Il résulte des travaux de Cagniard de Latour et de Schawnn, que la levure serait un champignon vésiculaire

complet (Torula cerevisiæ) qui peut se reproduire par bourgeonnement; opinion qui a été soutenue par plusieurs savants, Turpin, Pasteur, etc...

D'autres auteurs tels que Kutzing et M. Robin la rangent parmi les algues et en font le cryptococcus cerevisiæ.

Enfin, d'autres avec M. Pouchet, qui en a suivi le développement et les a vu germer, d'autres, dis-je, enseignent que ces corps organisés que l'on rencontre dans les liqueurs en fermentation, et que l'on désigne sous le nom de levure, ne sont que des spores spontanées de divers végétaux inférieurs appartenant pour la plupart à la famille des *mucédinées*. « J'ai pu suivre, dit M. Pouchet, toutes les phases « de leur développement, depuis la germination jusqu'à la « fructification (Pouchet). »

Les observations que j'ai pu faire sur la levure de bière me font accepter très-volontiers l'opinion de M. Pouchet, sur la diversité des organismes qui la composent, mais je croirais de préférence, comme Cagniard de Latour, que ces cellules sont des végétaux complets.

Quoi qu'il en soit, la levure de bière se présente sous forme de cellules ou vésicules sphériques ou ovoïdes, quelquefois élliptiques variant de 0 $^{m/m}$001 ^{m}, à 0 $^{m/m}$003 quelquefois libres, quelquefois réunies les unes aux autres en masses plus ou moins considérables, ou en chapelets, contenant dans leur intérieur des granulations extrêmement fines et un ou plusieurs noyaux ou vacuoles.

MM. Robin, Pasteur et plusieurs autres auteurs enseignent que ces chapelets sont dus à la production de bourgeons provenant d'une cellule mère et donnant eux-mêmes naissance à d'autres bourgeons; tandis que M. Pou-

chet affirme qu'ils sont simplement dus à la réunion de plusieurs cellules au moyen d'une substance mucilagineuse qui recouvre chaque spore.

Ces deux théories sont, il me semble, l'une et l'autre trop exclusives. Ces chapelets, en effet, sont dus tantôt à la production de bourgeons, tantôt à un accolement fortuit et accidentel des globules. L'on peut, dans la même levure, rencontrer les deux modes de groupements; cependant je dois dire que cette réunion de cellules m'a paru appartenir plutôt à l'un ou à l'autre mode de groupement, suivant que je l'ai examinée dans telle ou telle levure.

Voici du reste ce que j'ai pu observer à ce sujet. En général les globules de levure que l'on trouve au fond des cuves après la fermentation sont isolés et libres. Ils se présentent rarement en chapelets. Lorsqu'ils sont réunis en masses leur accolement est accidentel. On peut les séparer facilement en appuyant légèrement sur la lame de verre qui les recouvre.

Si au contraire l'on observe de la levure en voie d'action, on trouve les globules disposés le plus souvent en masses, formées d'un nombre plus ou moins considérable de cellules. On aperçoit des chapelets composés de deux ou trois cellules seulement, d'autres d'un plus grand nombre. Ces chapelets sont alors dus au bourgeonnement de la levure. On rencontre aussi dans ce dernier cas des globules isolés qui commencent à bourgeonner, d'autres enfin sont complètement libres et n'ont encore poussé aucun bourgeon. C'est sur ces derniers globules que j'ai eu occasion, plusieurs fois de constater le bourgeonnement de la levure ainsi que je le dirai plus loin.

Des auteurs allemands, Mitscherlich entre autres, décrivent deux espèces de levures : la levure supérieure et la levure inférieure. Cette dernière, que l'on rencontre dans la fabrication de la bière de Bavière, se produit et exerce son action à une température plus basse (entre 0° et 7°) que la levure supérieure. Celle-ci est beaucoup plus active que l'autre et se reproduit par bourgeonnement. La levure inférieure se reproduirait en épanchant dans le liquide ses granulations qui grossissent et se développent en autant de globules de levure.

M. Pasteur n'admet pas cette opinion de deux levures différentes, cependant il ne la nie pas formellement.

Cette distinction de deux levures différentes ne serait-elle pas une déduction des deux sortes de fermentations que l'on observe dans les brasseries ? La fermentation haute qui se produit par la partie supérieure de la cuve à une température moyenne de 14° à 18° sous l'influence de la levure supérieure ; et la fermentation basse qui s'opère par le fond de la cuve à une température inférieure à 7°, ordinairement à 4° ou 5° avec la levure inférieure pour ferment. Ces deux modes d'action de la levure dans des conditions diverses pourraient très-bien avoir donné lieu à l'idée de deux levures différentes (opinion que d'ailleurs je ne combats nullement). Cependant comme on peut avec de la levure supérieure déterminer la fermentation basse et réciproquement en changeant les conditions de milieux, il ne faudrait pas trop se hater d'admettre sans vérification l'idée allemande.

L'observation de Mitscherlich peut d'ailleurs être trèst fondée, car, ainsi que l'ont reconnu MM. Trécul et Pouchet

la levure ne serait qu'un mélange de ferments qui, dans certains cas, donneraient naissance à divers végétaux. Je suis à ce sujet entièrement de l'avis de ces deux auteurs, et je crois qu'un grand nombre de cryptogames sont capables, ainsi que le torula cerevisiæ de déterminer la fermentation (1). Or il est très-possible que les conditions de milieux soient plus favorables au développement de certains de ces végétaux ; cependant, je le répète, une vérification ne me paraît pas inutile.

J'ai dit plus haut que Fabrioni et Thénard avaient reconnu la nature azotée de la levure, mais ils n'en ont pas déterminé la composition chimique.

Plusieurs auteurs sont revenus sur cette question. Ils nous ont laissé des analyses chimiques qui diffèrent suivant qu'ils ont employé tel ou tel procédé de lavage et de purification, et suivant l'origine de la levure dont ils se sont servis.

M. Payen a donné à la levure la composition suivante :

Matière azotée.	62, 73
Enveloppes de cellulose.	29, 37
Substances grasses	2, 10
Matières minérales	5, 80
	100, 00

M. Dumas nous a laissé sur la levure l'analyse élémentaire suivante :

Carbone.	50, 60
Hydrogène.	7, 30
Azote.	15, 00
Oxygène. . . . . } Soufre . . . . } Phosphore . . . . }	27, 10
	100, 00

(1) Je reviendrai plus tard sur ce dernier point.

M. Schlossberger dans un travail sur la composition de la levure a obtenu pour résultats :

	Levure supérieure.		Levure inférieure.	
Carbone.	50, 05	49, 84	48, 03	47, 93
Hydrogène	6, 52	6, 70	6, 25	6, 69
Azote	31, 59	31, 02	35, 92	35, 61
Oxygène	11, 84	12, 44	9, 80	9, 77
	100, 00	100, 00	100, 00	100, 00

IV

Genèse de la levure

La levure de bière peut apparaître dans les liqueurs fermentescibles, sans que l'on y en ait préalablement introduit, et sans que les instruments les plus perfectionnés en puissent tout d'abord déceler la présence. Elle s'y trouve donc à l'état latent soit sous formes de germes invisibles, soit qu'elle s'y développe spontanément aux dépens d'une matière organique ou organisée en décomposition.

Deux théories sont en présence sur l'origine de la levure de bière :

L'une, la panspermie, veut que les germes existent tout formés dans l'air, qui n'en est que le véhicule ;

L'autre, l'hétérogénie, admet que cette levure se forme de

toutes pièces dans les liqueurs en fermentation, avec les éléments d'une matière organique en décomposition.

M. Pasteur, le défenseur le plus ardent de la première de ces théories, a rencontré dans l'air des corpuscules dont « la forme et la structure annoncent qu'ils sont organisés... « Ils résistent plusieurs jours à l'action de l'acide sulfurique. « Ceux-ci sont probablement des spores de mucédi- « nées » (1).

C'est au développement de ces spores que M. Pasteur attribue l'origine de la levure et des autres organismes que l'on rencontre dans les infusions ; il a appuyé sa théorie sur des expériences nombreuses, et a voulu prouver qu'il ne se produisait aucun protoorganisme, si les germes n'en étaient apportés par l'air.

Ces expériences sont trop nombreuses et trop connues pour que je les rapporte ici. Malgré l'autorité des savants(2) qui partagent l'opinion de l'illustre chimiste, sa théorie me parait insuffisante pour expliquer la prodigieuse fécondité des liquides de macération. Ces expériences, d'ailleurs, sont l'objet de contestations très-énergiques de la part des hétérogénistes, qui ont obtenu des résultats tout différents. Elles sont surtout contestées par M. Pouchet, un des partisans les plus autorisés et les plus convaincus de la génération spontanée.

M. Pouchet n'est pas le seul qui ait combattu et combatte encore la panspermie ; presque tous les philosophes de l'antiquité ont cru à la génération spontanée. Aristote,

(1) Pasteur. — *Comptes-rendus de l'académie des sciences* (tom. 50, p. 301.)

(2) Milne, Edwards. — Louget. — Claude Bernard, etc....

Pline, Lucrèce, Plutarque, saint Augustin, sont au nombre de ses partisans (1); Buffon, Lamarck, Blainville, Dujardin, R. Oven, Fée, Richard, de Humboldt, Musset, Joly, Mentegazza, Trécul et tant d'autres qu'il serait trop long d'énumérer sont les défenseurs de la génération spontanée.

Je ne veux point rapporter ici les longues luttes de M. Pouchet et de M. Pasteur; cependant je ne puis me défendre de dire, en passant, combien les travaux du savant physiologiste de Rouen, me paraissent l'emporter sur les expériences de l'habile chimiste de Paris, qui d'ailleurs a refusé le combat devant un jury neutre et ne l'a accepté plus tard que devant un tribunal composé de ses partisans. La lutte du reste n'a pas eu lieu.

M. Trécul, en 1868, a aussi conclu par de nouvelles recherches à l'hétérogénie de la levure.

M. Hartig, en 1833, avait établi dans un mémoire spécial qu'il n'admettait pas la génération spontanée dans le sens général du mot, mais que la matière déjà organisée, pouvait se transformer facilement en végétaux inférieurs. Il a poursuivi ses études sur ce sujet, et tout récemment, d'après une note que je trouve relatée dans les bulletins de la Société botanique de France (2), il a observé le développement d'êtres organisés dans des espaces exempts de sporules et remplis d'air filtré à l'aide de procédés physiques et chimiques sans oublier ceux qu'a recommandés M. Pasteur.

(1) J'invoque ici l'autorité des Anciens à un point de vue purement philosophique, n'oubliant pas les erreurs nombreuses et les exagérations de tous genres qu'ils nous ont léguées ; car, privés du secours si utile du microscope et des autres moyens que nous possédons aujourd'hui, ils n'avaient à leur disposition que le raisonnement.

(2) *Revue bibliographique.* — Avril-mai 1869. — T. XIII, p. 74.

M. Pasteur ne paraît-il pas en contradiction avec lui-même : « Il n'y a aucune impossibilité matérielle, dit-il, « à ce que la levure de bière se forme, bien qu'on n'en « sème pas. Elle apparait en effet *spontanément* par le « contact de l'air dans le mout de raisins et le jus de bet- « teraves, etc., mais le milieu formé de sucre, de phos- « phates et de sels d'ammoniaque, lui convient assez peu, « pour que sa production *spontanée* soit impossible, bien « que ce même milieu puisse entretenir la vie et le déve- « loppement de la levure adulte qu'on y sème (1). »

M. Germain de Saint-Pierre après avoir exposé (2) comment la création des êtres organisés (végétaux ou animaux) a été successive et non simultanée, fait voir comment ces mêmes êtres organisés se sont perfectionnés ou modifiés d'époque en époque, suivant que les circonstances extérieures étaient plus ou moins favorables à leur développement, et conclut, avec M. Pouchet, « à la production, « à des époques successives, d'embryons de types divers, « développés au sein de membranes proligères formées « aux dépens de débris organiques. »

Si l'on réfléchit à la quantité incroyable d'œufs, de séminules ou de spores que l'atmosphère devrait contenir pour expliquer la panspermie, il est évident que ces corpuscules nous auraient été signalés et par l'analyse chimique et par l'observation directe.

R. Oven a calculé qu'il existait parfois plus de 500 millions de *monas crepusculum* dans une goutte d'eau.

(1) *Annales de physique et de chimie*, t. LVIII, p. 389.

(2) *Société de botanique*, séance du 27 nov. 1868, add. au compte-rendu.—Les âges du monde végétal.

M. Pouchet a toujours vu se produire des milliards de microzoaires, en ne laissant arriver dans ces flacons qu'un décimètre cube d'air. Les expériences que j'ai pu exécuter moi-même m'ont conduit à des résultats analogues.

Il faudrait donc que chaque décimètre cube d'air contînt des germes en quantités suffisantes pour produire *en peu de temps* un nombre aussi considérable d'organismes.

Malgré la rapidité de la multiplication des protozoaires, je crois qu'il est difficile d'admettre que quelques germes puissent produire *en peu de temps* des organismes aussi nombreux. D'ailleurs, quand même chaque décimètre cube d'air ne contiendrait que quelques germes, on les découvrirait facilement au moyen de l'aéroscope. « En moyenne « on ne rencontre peut-être pas un œuf ou une spore par « 100 mètres cubes d'air atmosphérique (1). »

Il est impossible, d'ailleurs, d'expliquer avec la panspermie la diversité des êtres qui se produisent selon que l'on emploie une infusion ou une macération de telle ou telle substance. L'air serait, en effet, surchargé et littéralement encombré par ces organismes, qui manifestent leur présence dans ces diverses circonstances, à moins que les mêmes germes ne puissent produire des êtres différents.

Certains êtres, il est vrai, peuvent suivant les conditions de milieux, se modifier, se transformer et donner naissance à des espèces très-diverses d'organismes ; mais il y a des êtres qui, introduits dans un milieu, sont capables d'y vivre, mais ne sauraient s'y développer spontanément ;

(1) POUCHET. — *Nouvelles expériences sur l'hétérogénie*, p. 69.

tandis que d'autres non-seulement peuvent y vivre, mais encore s'y développent spontanément.

Ceux qui s'y produisent sont donc différents de ceux qui peuvent seulement y vivre, et ne sauraient provenir des mêmes germes. Il y aurait donc dans l'atmosphère les germes les plus divers. La plupart des panspermistes d'ailleurs, n'admettent même pas les modifications dues aux milieux et veulent qu'un être provienne directement d'un être semblable.

Comment expliquer, d'ailleurs, la présence d'une foule d'organismes qui ne se développent que sur les produits de dates récentes? Où étaient donc avant la fabrication du papier les germes de chætonium chartarum qui ne vivent que sur les papiers altérés? Où étaient donc les germes de l'hygrocrocris barytica avant la naissance de la chimie, puisqu'on ne les a jamais observés que dans les solutions de chlorure de baryum? Et ceux de l'acide tartrique? et tant d'autres?

La panspermie me paraît bien impuissante à répondre.

Et comment expliquer la production des levures hybrides, que l'on obtient en mélangeant des liqueurs fermentescibles diverses et que l'on peut varier à l'infini? On ne saurait certainement pas invoquer la présence de leurs spores dans l'atmosphère.

Assurément on rencontre dans les poussières de l'atmosphère quelques grains de pollen, quelques graines de diverses plantes et des œufs d'une foule d'animaux, mais leur nombre est-il suffisant pour expliquer la prodigieuse fécondité de nos infusions? Je ne le pense pas.

Certes, il peut se trouver quelques rares organismes dus

au développement de germes atmosphériques ; mais des organismes peuvent aussi prendre naissance sans avoir été précédés par des parents semblables à eux, par l'organisation, la transformation ou la modification de la matière organique; et la plupart, je dirai même l'immense majorité de ceux que l'on rencontre dans nos infusions, ont cette dernière origine.

J'admettrai donc, l'hétérogénie de la levure.

Mais, puisque la levure et tous les autres organismes que l'on voit apparaître dans les liqueurs en fermentation, ne proviennent que rarement de germes charriés par l'atmosphère, d'où viennent-ils ? et comment se forment-ils ? Nous allons l'examiner.

Buffon, dans sa théorie des molécules organiques, dit que les corps vivants sont composés d'atomes réunis, agissant chacun séparément, et mettant leur travail en commun pour constituer un être vivant.

M. Claude Bernard émet des idées analogues sur la composition des êtres vivants : « Les éléments anato-« miques, dit-il, sont de véritables organismes qui, par « leurs groupements, sont ensuite appelés à constituer un « organisme total... Chaque espèce d'éléments représente « une véritable espèce d'individus qui dépend d'un tout « auquel il est associé, mais qui a toujours son indépen-« dance et sa vie propres, qui a sa manière particulière de « se mouvoir et d'être excité, qui a ses poisons spéciaux « et sa manière spéciale de mourir (1). »

(1) *Revue des Deux-Mondes.* — CLAUDE BERNARD. 1er sept. 1867, t. LIII, p. 174.

M. Vulpian partage les idées de M. Claude Bernard sur l'organisation des êtres. Le sarcode est animé et la vie peut se prolonger, pendant un certain temps, dans les éléments anatomiques, après la mort de l'individu qu'ils constituent.

Le corps d'un animal n'est qu'une réunion d'éléments organiques qui vivent et meurent chacun à sa manière. Voici un premier fait :

M. Marchand, dans son travail sur la reproduction des animaux infusoires, établit l'identité, déjà annoncée par M. Vulpian (1), du sarcode dans les animaux et du protoplasma dans les plantes. Ce que nous avons dit sur l'organisation des animaux peut donc aussi s'appliquer aux végétaux et à toute substance organisée. Un être organique en général n'est que l'assemblement d'une infinité d'éléments réunis et groupés de manière à constituer un tout complet. Voici un deuxième fait.

Les matières organiques ou organisées étant donc constituées par des éléments jouissant chacun d'une vie propre et spéciale, est-il étonnant que, ces mêmes substances organiques étant en état de décomposition, l'union de ces éléments soit rompue, qu'ils soient tous livrés à leur vie propre et, se trouvant en contact les uns avec les autres et en quelque sorte à l'état naissant, se groupent alors d'une manière différente pour constituer un autre être vivant végétal ou animal prenant ainsi naissance sans parents ?

Est-il impossible que ces organismes de la plus grande simplicité, puisque beaucoup ne sont composés que d'une

(1) Vulpian. — *Cours du Muséum : Du sarcode.* — *Revue des cours scientifiques*, t. I, p. 490.

cellule, se forment par une simple modification, due aux circonstances et aux milieux dans lesquels ils se trouvent, de ces mêmes éléments anatomiques ?

La vie, il est vrai, ne paraît pas, tout d'abord, subsister indéfiniment dans les éléments après la mort de l'individu. L'explication ci-dessus ne saurait donc s'appliquer, dira-t-on, qu'aux organismes qui prennent naissance immédiatement après la mort de l'individu, et nullement aux organismes qui se produisent dans les infusions ou macérations de matières mortes depuis longtemps, de plantes sèches par exemple. Je répondrai à cela que la vie subsiste quand même, mais à l'état latent, dans une plante sèche aussi bien que dans une plante fraîche, et qu'elle se manifeste lorsque les conditions deviennent favorables. Une graine ne reste-t-elle pas pendant des temps infinis sans donner aucun signe de vie ? Et cependant, aussitôt que les circonstances deviennent favorables, on voit s'y développer cette force inconnue, appelée vitale, qui était restée cachée jusque-là.

Pourquoi n'existerait-il pas dans tout ce qui nous entoure une force vitale, de même qu'il existe un calorique, de même qu'il existe une force électrique ? Ainsi que ces dernières forces se développent dans certaines conditions, par le frottement par exemple, ainsi cette force vitale se manifeste dans des circonstances convenables.

Il existe d'ailleurs un rapport assez intime entre ces diverses forces ; l'électricité et la chaleur contribuent puissamment à développer la force vitale.

C'est cette force indéterminée qui, agissant sur le plasma ou la masse sarcodique, l'organiserait de même qu'elle

organise et anime les nouvelles cellules qui se forment lors du développement d'un être supérieur, au moyen d'une matière quelquefois non encore organisée.

La vie n'est-elle pas à l'état latent dans le germe de l'œuf et ne resterait-elle pas indéfiniment dans cet état si un certain degré de chaleur n'y venait la développer ?

C'est cette même force qui disparaît, au moins en apparence, chez la plupart des végétaux pendant la saison d'hiver, pour reparaître de nouveau lorsque la chaleur du printemps la réveille.

Voici maintenant le résultat de l'observation directe. Lorsqu'on place une infusion dans des conditions favorables, les masses sarcodiques sont en suspension dans le liquide. Bientôt elles se concentrent pour former une pellicule qui recouvrira la surface. Ensuite (toujours en se plaçant dans de bonnes conditions), ces premiers organismes se transforment en granulations très fines qui vont constituer une nouvelle membrane. Ces granulations se groupent et se concentrent en certains points, forment des amas compactes limités par une zone plus claire. C'est l'ovule spontanée de de M. Pouchet qui va devenir le point de départ d'un organisme ou de divers organismes, animaux ou végétaux, suivant les conditions de milieux dans lesquelles elle se trouvera.

Quant au développement de la levure, M. Pouchet la considère comme une simple germination de la spore spontanée qui devient végétal adulte. Il donne à tous les globules la même origine spontanée et rejette le bourgeonnement. Cette théorie soutenue par MM. Joly et Musset est rejetée par la plupart des auteurs qui, ainsi que MM. Pasteur, Robin, de Seynes etc.., attribuent à un phénomène de

bourgeonnement le développement et la multiplication de la levure. M. Trécul qui, comme M. Pouchet, admet la genèse spontanée de ces organismes, nous enseigne également la multiplication par bourgeonnement.

M. Pouchet est, je crois, dans le vrai en enseignant l'origine spontanée de la levure, mais il devient trop exclusif en attribuant à l'hétérogénie seule sa production, et en rejetant le bourgeonnement.

Le 10 janvier examinant au microscope de la levure prise dans un liquide en pleine fermentation, je remarquai une de ces cellules volumineuse, isolée dans un espace libre relativement assez grand, et parfaitement située pour être observée. Ayant vu presque toutes les cellules environnantes porter des bourgeons plus ou moins développés, j'examinai attentivement la cellule isolée espérant que peut-être je parviendrais à la voir suivre l'exemple des autres et produire un ou plusieurs bourgeons. Je ne fus pas trompé dans mon attente. A deux heures (1) cette cellule, d'abord sphérique, devint peu à peu ovoïde. Bientôt après, une de ses extrémités (la plus petite) s'allongea insensiblement de manière à former une légère saillie. Cette saillie augmenta de plus en plus pendant qu'un léger étranglement se produisait à son origine. Cet étranglement augmenta à son tour. A quatre heures le bourgeon était formé et représentait une nouvelle cellule quoiqu'il fût encore très-petit et adhérent à la cellule mère. Le jour étant devenu insuffisant, je dus renoncer à suivre jusqu'au bout, comme je l'eusse désiré, le développement de ce bourgeon.

(1) La température était de 25° dans le laboratoire.

Je me rangerai donc à l'opinion de M. Trécul et tout en admettant sa sponléparité, je laisserai à la levure, une fois formée, la faculté de se multiplier comme d'autres végétaux inférieurs.

Mitscherlich, Turpin, etc. admettent un deuxième mode de multiplication. Les globules de levure adultes se rompent, disent-ils, et épanchent dans le liquide leurs granulations, qui seraient autant de sporules, qui grossissent et deviennent des globules de levure ordinaires.

Je n'ai jamais eu occasion d'observer ce mode de reproduction. J'ai vu cependant dans des liquides en pleine fermentation des globules de levure extrêmement petits, qui m'ont paru en voie de formation ; mais je ne pense pas qu'ils proviennent des granulations contenues dans les cellules adultes, car je n'ai jamais vu se rompre aucune de celles-ci. J'attribue plus volontiers leur présence à la génération spontanée.

Dès 1838 Turpin avait observé que le torula cerevisiæ donnait naissance au penicillium glaucum par un développement successif (1). MM. Trécul et Pouchet ont depuis constaté le même phénomène. La levure, dit M. Pouchet, n'est formée que « de séminules ou spores spontanées qui « par leur germination donnent naissance à des penicil- « liums, des aspergillus, des ascophora (2). »

C'est aux myceliums enchevêtrés de ces aspergillus que serait due la production de ces membranes glaireuses que l'on rencontre dans le cidre.

(1) *Mémoires de l'Académie*, t. XXVII.
(2) *Bull. soc. botan. de France*, 1868, t. XV, p. 169.

Ce sont probablement ces mêmes champignons qui déterminent cet aspect mucilagineux que l'on remarque dans les vins blancs mal soignés et que l'on désigne vulgairement sous le nom de vins qui *filent*.

M. de Seynes n'a pu observer dans le développement du torula la production de ces penicilliums et de ces aspergillus, mais il a montré que la levure placée dans certains milieux peut donner naissance au mycoderna vini (1).

D'après M. Trécul, les spores provenant de penicilliums résultant du développement du torula cerevisiæ paraissent susceptibles de se transformer en levure. M. Pouchet dit au contraire qu'il n'est jamais parvenu à faire germer ces spores.

En résumé, la levure de bière est un mélange d'organismes végétaux de nature fungique, susceptibles de se produire spontanément dans les liqueurs en fermentation, et pouvant ensuite se multiplier par bourgeonnement, et donner naissance par des transformations et des développements successifs à divers végétaux inférieurs.

V

Des substances fermentescibles

Connaissant le ferment qui détermine la production de l'alcool, il nous reste à examiner son rôle dans la fermen-

(1) *Académie des sciences*, séance du 20 juillet 1868.

tation ; mais avant il est bon, je crois, de jeter un coup d'œil sur les substances qui sont susceptibles de subir la fermentation alcoolique soit directement, soit après avoir subi une première modification.

Les substances qui peuvent fermenter immédiatement sous l'influence de la levure de bière ont reçu le nom général de *glucoses*. Leur formule chimique est $C^{12}H^{12}O^{12}$ ou un multiple. Ces substances sont :

Le glucose $C^{12}H^{12}O^{12}$;

La levulose isomère du glucose ;

La lactose ou sucre de lait hydraté ;

La maltose ;

Enfin la melitose que l'on retire de la manne d'Australie et dont une partie seulement est susceptible de fermenter et qui laisse un sucre infermentescible, l'Eucalyne (1).

Les substances indirectement fermentescibles sont :

La saccharose ou sucre de canne ($C^{24}H^{22}O^{22}$);

La melezitose ou sucre de mélèze ou de la manne de Briançon ;

La trehalose ($C^{24}H^{22}O^{22} + 2\ HO$) sucre retiré du tréhala, cristallisé en octaèdres rectangulaires. A 100° il perd toute son eau de cristallisation et présente alors la même formule que le sucre de canne ($C^{24}H^{22}O^{22}$) ;

La mycose, isomère qui possède les mêmes propriétés que la tréhalose, dont elle diffère par son pouvoir rotatoire et en ce qu'elle ne se deshydrate pas entièrement à 100°. Ce sucre a été retiré par Mitscherlich du seigle ergoté ;

Le lactine ou sucre de lait que l'on trouve dans le lait des mammifères.

(1) BERTHELOT. — *Ann. de physique et de chimie* t. IV, p. 66.

Nous pouvons ajouter en outre l'amidon, les gommes, la dextrine, le glycogène.

Ces substances ne peuvent se transformer en alcool et acide carbonique qu'après avoir subi une ou plusieurs modifications préalables.

M. Berthelot a montré en 1857 qu'un grand nombre d'autres substances étaient aptes à subir la fermentation alcoolique même sans l'influence de la levure de bière ; mais ce fait constituant un cas tout particulier de la fermentation alcoolique, nous ne nous y arrêterons pas.

Avant d'étudier la fermentation alcoolique proprement dite, c'est-à-dire l'action de la levure sur les substances directement fermentescibles; nous allons examiner les modifications que doivent subir les substances qui ne fermentent pas immédiatement, avant de se transformer en alcool et acide carbonique, c'est-à-dire la *fermentation glucosique.*

Prenons pour type de ces substances la saccharose ou sucre de canne, de même que nous prendrons le glucose pour type des autres.

Nous devons à M. Persoz et à M. Dubrunfaut les premières expériences qui ont déterminé l'action de la levure de bière sur le sucre de canne. Grâce à eux nous savons que le pouvoir rotatoire du sucre de canne, lorsqu'il a subi l'influence de la levure, présente un signe contraire à celui du sucre primitif, de là le nom de sucre *interverti.*

M. Pasteur a considéré cette transformation du sucre de canne en sucre *interverti* comme un phénomène accessoire dû à la production constante de l'acide succinique dans la fermentation alcoolique : « Je ne pense pas, dit-il,

« qu'il y ait dans les globules de levure aucun pouvoir
« particulier de transformation de sucre de canne en sucre
« interverti : mais.... le sucre doit éprouver en présence
« de l'acide succinique l'effet qu'il éprouve en général par
« l'action des acides (1). »

M. Berthelot a repris l'étude de cette question, et a recherché si la levure de bière produit des effets successifs sur le sucre de canne, ou n'en produit qu'un seul, et si la transformation de ce corps est due à l'acide succinique.

Il a d'abord reconnu que l'acide succinique exerçait une action insignifiante sur le pouvoir rotatoire du sucre de canne. Il a ensuite reconnu que l'inversion du sucre de canne sous l'influence de la levure s'opérait même dans les liqueurs alcalines et que la fermentation alcoolique se produisait encore quoiqu'un peu plus lentement (2).

L'inversion du sucre de canne sous l'influence de la levure n'est donc pas due à l'action d'un acide comme l'a dit M. Pasteur, mais à l'action propre du ferment.

Il résulte des recherches de M. Berthelot que ce n'est pas l'ensemble de la levure qui exerce cette action inversive sur le sucre de canne, mais un principe particulier contenu dans ces cellules. Ce principe, soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool, offre l'aspect d'une masse jaunâtre, cornée, et présente de l'analogie par ses propriétés chimiques avec la diastase et la pancréatine. Comme elles il est azoté, coagulable par la chaleur et l'acide azotique. Il transforme le sucre de canne en sucre interverti sans dé-

(1) Comptes rendus de l'Académie des sciences.
(2) Berthelot. — *Comptes rendus*.

terminer la fermentation alcoolique et sans donner lieu au développement immédiat d'êtres organisés (Berthelot).

Quant au changement que le sucre de canne a subi, par l'inversion, dans sa composition chimique, il consiste seulement dans l'absorption d'un équivalent d'eau et sa formule qui était primitivement $C^{12}H^{11}O^{11}$ est devenue $C^{12}H^{11}O^{11} + HO$ ou $C^{12}H^{12}O^{12}$ ou mieux $C^{24}H^{22}O^{22} + H^{2}O^{2} = 2(C^{12}H^{12}O^{12})$.

Cependant il ne faudrait pas croire que la modification qui constitue la *fermentation glucosique* soit aussi simple que semble l'indiquer le changement de composition chimique du sucre de canne. En même temps que les éléments de l'eau s'ajoutent à la formule du sucre, il se produit aussi une modification moléculaire qui communique à ce corps des propriétés différentes. Cette substance qui naguères déviait à droite la lumière polarisée la dévie à présent à gauche. Cette même substance incapable auparavant de se transformer en alcool et acide carbonique pourra maintenant subir la fermentation alcoolique.

VI

Du rôle de la levure

Cherchons maintenant à pénétrer le mystère de l'action si remarquable de la levure sur les glucoses.

Le ferment être organisé mort entre-t-il en décomposi-

tion ; et ce mouvement de décomposition se communique-t-il à la masse fermentescible ?

Ou bien ces organismes vivants ou naissants influent-ils par leur nutrition, leur respiration ou leur développement sur la nature chimique du milieu où ils se trouvent; rompent l'équilibre qui existe entre les éléments du sucre et déterminent la fermentation par un acte physiologique ?

En un mot la fermentation est-elle le résultat de la vie ou de la mort ?

Ou bien encore est-elle due à une action purement chimique, à l'influence catalytique d'une substance contenue dans la levure ou produite par elle ?

Lavoisier est le premier qui la balance en main posa l'équation : Mout de raisins = alcool + acide carbonique. Cependant il reconnut que la somme des poids de l'alcool et de l'acide carbonique n'était pas tout à fait égale au poids du sucre. Il attribua cette différence à la production d'un peu d'acide *acéteux*.

Il vit bien que ce phénomène était produit par la levure, mais il ne dit rien sur le mode d'action du ferment.

Plusieurs hypothèses ont été soutenues depuis sur ce sujet. Liebig, Gerhardt, Pouchet, etc.., considèrent le ferment comme un corps *essentiellement mort*. C'est cette substance *morte* qui, entrant en décomposition, déterminerait la fermentation en communiquant à la masse fermentescible ce mouvement de décomposition dont elle est animée. Cette hypothèse constituant la théorie du *mouvement communiqué* est admise en général en Allemagne.

M. Pouchet pour prouver que le ferment est essentielle-

ment mort se fonde sur l'expérience suivante. Il a fait sécher de la levure de bière anglaise, l'a exposée au soleil pendant six mois, puis pendant six heures dans une étuve chauffée à 100°. Ayant ensuite introduit dans du mout de bière cette levure desséchée, il a observé une fermentation énergique et la production de nouvelles et abondantes spores. La fermentation est donc due, dit-il, à l'action d'un *agent mort.*

M. Pouchet ne se hâterait-il pas trop de conclure et ne se tromperait-il pas dans l'interprétation de son expérience ? Cette levure, dit-il, étant ainsi desséchée, on ne saurait douter qu'elle n'ait perdu toute sa vitalité.

Que le célèbre physiologiste de Rouen, dont je partage d'ailleurs les idées sous beaucoup de rapports, me permette ici de ne pas me ranger à son avis ; car sa levure ainsi desséchée, indépendamment de ce qu'elle peut avoir conservé encore la faculté de subir l'influence de la vie, introduit dans le liquide les éléments nécessaires à la production de nouvelles cellules. Il a du reste observé lui-même la formation d'une abondance de levure. Je crois que c'est à la production de celle-ci qu'il faudrait attribuer la fermentation.

J'ai remarqué souvent que la fermentation se manifeste beaucoup plus lentement sous l'influence de la levure desséchée qu'en présence de la levure prise en voie d'action dans un liquide fermentescible. Je serais assez porté à croire que l'action du ferment desséché se borne à fournir les éléments nécessaires à la production d'une nouvelle levure qui déterminerait la fermentation en *s'organisant.* En effet, tandis que des cellules jeunes de levure prises dans un milieu fermentant et transportées dans un liquide

sucré déterminent presqu'aussitôt la fermentation de celui-ci, la levure desséchée ne manifeste son action, les conditions étant les mêmes d'ailleurs, qu'après un temps relativement très-long (10 ou 12 fois plus). J'ai remarqué en outre que la fermentation produite avec la levure desséchée s'opère en quelque sorte en deux temps. Avant qu'il ne se manifeste aucun dégagement gazeux, le liquide se trouble (j'attribue ce trouble à la production de nouvelles cellules). Ces cellules en s'organisant déterminent une première période de la fermentation (nous verrons bientôt comment). Puis au bout d'un certain temps, lorsque le dégagement d'acide carbonique a été abondant et par conséquent la fermentation active, le liquide s'éclaircit et la fermentation se ralentit un instant. Mais bientôt, sous l'influence de ces cellules de nouvelle formation, la fermentation redevient plus énergique et le liquide est de nouveau troublé, mais alors par les cellules de levure entraînées par le dégagement du gaz. L'interprétation que je donne en ce moment est une pure hypothèse qui a besoin d'être vérifiée.

M. Pouchet appuie son assertion sur cet autre fait que l'eau de levure peut comme elle déterminer la fermentation. Ce phénomène, dit-il, ne saurait être dû à l'action de ces cellules puisqu'elles n'existent pas dans les liqueurs. Je m'étonne que M. Pouchet, défenseur aussi habile de l'hétérogénie, n'ait pas pris garde que l'eau de levure apportait dans son liquide les éléments nécessaires à la production spontanée d'une nouvelle levure et que ces spores spontanées en voie de formation pouvaient déterminer la fermentation. Je n'accepterai donc pas l'opinion du ferment mort.

Je crois au contraire que la fermentation alcoolique est en général le résultat d'un acte physiologique, d'un acte de la vie que je chercherai à expliquer plus loin.

M. Berthelot a ressuscité la théorie de Berzelius. Il considère la fermentation comme le résultat d'une réaction chimique. Il regarde l'action du ferment comme une action de contact, et attribue les mêmes propriétés à toutes les substances azotées en général. L'action du ferment, dit-il, est due à sa composition chimique et non à sa forme, puisque les mêmes changements se produisent avec les substances les plus variées et notamment avec la gélatine, composé artificiel dénué de toute structure (1).

Il y a donc lieu de penser que l'action des matières azotées et celle de la levure de bière dépendent non point de leur structure organisée, mais de leur nature chimique, et qu'elle est analogue à celle de l'émulsine sur l'amygdaline et de la diastase sur l'amidon (Berthelot).

M. Berthelot de même que M. Pouchet ne considère pas la levure comme le ferment véritable, mais comme l'agent sécréteur du ferment « au même titre que l'orge germé « sécrète la diastase, les amandes sécrètent l'émulsine » (Berthelot).

« Il n'est pas plus rationnel, dit M. Pouchet, de nommer *ferment* l'organisme qui produit la fermentation... « qu'il ne le serait de nommer venin le serpent dont la « morsure tue (2). »

Quoique M. Berthelot soutienne de sa grande autorité cette théorie, je ne compare pas volontiers le rôle de

(1) Berthelot. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tom. XLIV, p. 704.
(2) Pouchet. *Nouv. expériences sur l'hétérogénie*, p. 154.

la levure qui est un être vivant, se nourrissant, se développant, jouissant en un mot de la vie, au rôle purement chimique de la diastase, corps inerte.

La diastase agit en effet par son seul contact, c'est une force catalytique ; tandis que l'action de la levure est enchaînée à un acte physiologique, elle dépend de sa vie, de sa nutrition, de son développement, de sa santé.

M. Blondeau a déterminé, il est vrai, une fermentation énergique en mettant de l'eau sucrée en rapport avec du sang. Mais il a remarqué que ces globules s'étaient multipliés dans le milieu sucré. Les globules sanguins rentrent donc dans le cas de la levure, c'est-à-dire des ferments vivants.

Si M. Berthelot a obtenu de l'alcool en employant des substances azotées non organisées pour ferment, il y a eu formation simultanée de plusieurs autres corps. Il s'est produit en même temps des granulations qui n'étaient certainement pas de la levure de bière, mais il n'est pas démontré qu'elles ne soient pas organisées.

Cette théorie réclame donc une démonstration plus complète.

Si la matière albuminoide aide à la fermentation, c'est parce qu'elle contient des éléments convenables à la production et au développement du ferment.

M. Pasteur attribue la fermentation à un acte de la vie, à un acte physiologique. « La levure dit-il, est très-avide « d'oxygène. Puisque la levure de bière assimile le gaz « oxygène avec énergie lorsqu'il est libre, cela prouve

« qu'elle en a besoin pour vivre et elle doit conséquem-
« ment en prendre à la matière fermentescible si on lui
« refuse ce gaz à l'état de liberté ; aussitôt la plante nous
« apparaît comme un agent de décomposition du sucre.
« Lors de chaque mouvement de respiration de ces cel-
« lules, il y aura des molécules de sucre dont l'équilibre
« sera détruit par la soustraction d'une partie de leur
« oxygène. Un phénomène de décomposition s'en sui-
« vra (1). »

Pour M. Pasteur, la levure n'aurait le caractère ferment qu'à l'abri du contact de l'air. Si au contraire elle peut puiser librement dans l'atmosphère l'oxygène qui lui est nécessaire, elle vit comme les autres plantes sans déterminer la fermentation.

M. Pasteur mit dans un flacon de l'eau sucrée et des matières albumineuses ; après avoir chassé tout l'air contenu dans le vase, il y sema de la levure et ferma à la lampe son ballon privé d'air. Il vit alors la levure se multiplier, mais d'une manière pénible et la fermentation devenir très-active. Si. au contraire il fait l'expérience au contact de l'air, la levure se multiplie avec une très-grande activité et enlève à l'air des quantités considérables d'oxygène. Si l'on transporte dans l'eau sucrée albumineuse cette levure développée au contact de l'atmosphère et qu'on la mette à l'abri de l'air, elle détermine une fermentation énergique (Pasteur).

Ce dernier point me paraît en contradiction avec les faits. Car, ainsi que l'a remarqué M. Trécul et ainsi que

(1) PASTEUR. *Comptes rendus*. tom. LII. p. 1263.

je l'ai observé bien souvent moi-même, la levûre ramifiée et complétement développée ne détermine plus la fermentation ou tout au moins n'est qu'un ferment peu actif. Si au contraire on introduit dans une liqueur fermentescible de jeunes cellules de levûre, elles s'y développent rapidement et déterminent une fermentation énergique.

C'est à la production ou au développement de ces cellules que j'attribue les phénomènes de la fermentation.

J'ai refusé plus haut d'accepter la théorie de M. Pouchet sur les *ferments morts*, mais j'admettrai volontiers comme lui l'hypothèse d'un *mouvement communiqué*, mais d'un *mouvement vital*.

M. Pouchet attribue le phénomène de la fermentation à un mouvement de décomposition de la matière morte, mouvement qu'elle communique à la masse fermentescible. Je crois, comme lui, que la fermentation est due à un mouvement communiqué, mais, je le répète, à un mouvement vital.

Que l'on me permette d'exposer ici l'idée que je me suis formée du rôle du ferment.

C'est en se développant, en se multipliant, que ces cellules microscopiques agissent sur la masse fermentescible et opèrent sa décomposition.

Les faits que l'on observe chaque jour sont, il me semble, en faveur de l'opinion que j'avance ici. Jamais un liquide ne fermente sans qu'il y ait production ou multiplication d'organismes. Jamais on n'observe de fermentation dans les liqueurs où l'on n'a point introduit de ferment, avant que le liquide n'ait été troublé par la production spontanée des granulations qui vont constituer le ferment.

C'est en se formant, en se développant, que la levure détermine la fermentation. La force vitale se condense en quelque sorte dans les masses sarcodiques pour les organiser et produire la levure ; et par l'intermédiaire de ces globules, elle exerce son action sur la matière fermentescible sur laquelle elle ne saurait agir directement.

Ces cellules par leur développement et leur multiplication opèrent sur le sucre une modification moléculaire, communiquent à la masse un ébranlement qui rompt l'équilibre de ses éléments et la transforment en produits plus simples, l'alcool et l'acide carbonique, de la même manière que l'électricité décompose l'eau en oxygène et hydrogène.

M. Pasteur affirme que la fermentation alcoolique s'accompagne constamment de la production de glycérine et d'acide succinique. Cela est vrai en général : cependant M. Blondeau a obtenu sous l'influence de la levure un dédoublement pur et simple du sucre en alcool et acide carbonique, en composant des liqueurs fermentescibles qui renfermaient en abondance tous les éléments nécessaires à la production, à la nutrition et au développement du ferment.

Dans ses expériences, il a obtenu une quantité d'acide carbonique exactement égale à celle indiquée par la théorie d'un simple dédoublement. Le ferment dans ce cas agirait donc sur le sucre absolument comme un courant électrique sur l'eau.

Si, comme le dit M. Pasteur et, comme je le crois, ces organismes agissent réellement par leur respiration et leur nutrition sur la masse fermentescible, cette action ne s'exercerait que dans le cas (cas très-général) où le ferment

ne trouverait pas en dehors de la matière soumise à la fermentation une nourriture suffisamment riche à sa vie et à son développement.

C'est peut-être à cette dernière action que se rattache la formation de la glycérine, de l'acide succinique et des autres produits, alcools homologues divers et carbures d'hydrogène, qui accompagnent la production de l'alcool éthylique.

L'étude des conditions les plus favorables à la fermentation est une preuve de plus à l'appui des ferments vivants. En effet, toutes les circonstances qui favorisent la production ou le développement des êtres exercent en général une heureuse influence sur la fermentation. L'électricité qui développe si rapidement la germination dans les graines ainsi que l'ont observé MM. Nollet, Davy, Becquerel, etc. rend aussi la fermentation plus active. L'électricité, qui pendant les temps orageux détermine la putréfaction si rapide des matières organisées et par conséquent la formation d'organismes; accroît l'énergie de la fermentation. Celle-ci ne saurait se produire sans la chaleur et l'humidité indispensables au développement de tout embryon.

Le degré de température doit être compris entre 0° et 60°. Au delà de ces deux limites extrêmes il n'y a ni fermentation ni germination possibles.

La température peut influer sur le résultat de la fermentation. Ainsi si une chaleur de 25° à 30° est la plus favorable à la rapidité de la fermentation alcoolique, elle facilite la production d'acide acétique; c'est pour cela que dans l'industrie on empêche la température de s'élever au dessus de 15° ou 18°.

La fermentation basse qui s'opère dans les brasseries à une température de 4. ou 5° donne un produit différent de celui obtenu par fermentation haute à 15° environ.

La lumière m'a paru ne pas exercer une influence sensible sur la fermentation. J'ai recherché l'action des rayons rouges, bleus, verts, jaunes, comparativement à celle de la lumière blanche. La marche de l'opération n'a présenté aucun phénomène particulier sous l'influence de ces rayons, la durée de la fermentation a été la même. Les résultats que j'ai obtenus au point de vue de la quantité d'alcool produit ont été les mêmes de toutes parts. Ce serait une preuve contre la théorie qui envisage la fermentation comme un phénomène chimique (1).

La fermentation peut s'établir dans des liqueurs neutres et même alcalines ainsi que l'a montré M. Berthelot (2). Cependant un milieu un peu acide est favorable à la fermentation alcoolique ainsi que nous le verrons bientôt.

Ce phénomène étant lié d'une manière intime au développement du ferment, les conditions qui favoriseront ce développement devront aussi exercer une heureuse influence sur la fermentation. Pour que le ferment puisse vivre et se reproduire facilement, il lui faut une nourriture abondante contenant des substances minérales et surtout de l'azote et du phosphore; de là l'utilité des matières albuminoides.

Si ces substances n'existent pas ou ne sont pas en quantités suffisantes, le ferment pourra vivre quelque temps à ses propres dépens et à ceux de la masse fermentescible,

(1) L'absence complète de la lumière ne s'oppose pas à la fermentation.

(2) Berthelot. — *Ann. phys., chim.*, t. 50, p. 358.

mais il languira, s'épuisera, se développera difficilement et la fermentation sera lente et incomplète.

Un liquide contenant (en outre des substances susmentionnées) 1/10 ou un peu plus de son poids de sucre, parait le plus favorable à la fermentation. Une trop grande quantité de sucre entrave l'action de la levûre. Peut-être parce que la masse est trop considérable pour que le ferment lui communique le mouvement qui doit opérer sa transformation.

VII

Des produits de la fermentation alcoolique

Il ne nous reste plus à présent qu'à examiner rapidement les produits qui résultent de la transformation du sucre en présence de la levure de bière.

Les produits de la fermentation alcoolique sont en général complexes et peuvent varier avec les circonstances. Je ne veux entrer dans aucun détail au sujet des composés accessoires qui peuvent prendre naissance dans cette opération ; Je m'occuperai seulement du corps le plus important, de l'alcool éthylique.

L'on obtient en outre comme produit essentiel l'acide carbonique que l'on pourrait en quelque sorte considérer comme un des éléments du sucre.

Parmi les produits accessoires, M. Pasteur, comme je l'ai déjà dit, a trouvé constamment de la glycérine et de

l'acide succinique. Il se forme aussi, le plus souvent, un nombre plus ou moins considérable d'alcools homologues, et de carbures d'hydrogène, qui communiquent à l'alcool un goût désagréable et une odeur empyreumatique dont il est souvent très-difficile de le débarrasser.

Lorsque la fermentation a été poussée trop loin ou si elle a eu lieu à une température trop élevée, on rencontre assez fréquemment des quantités plus ou moins grandes, quelquefois assez notables, d'acide acétique.

L'acide lactique offre une tendance assez marquée à prendre naissance dans la fermentation alcoolique. Lorsque les liqueurs sont alcalines, cet acide se forme en abondance, et même si le degré d'alcalinité est assez élevé, la fermentation alcoolique tend à se transformer en fermentation lactique et l'alcool n'est plus alors qu'un produit accessoire et l'acide lactique devient l'essentiel. Un léger degré d'acidité est au contraire favorable à la production de l'alcool.

Il ne me reste plus qu'à exposer sommairement les principales propriétés de l'alcool éthylique.

De l'alcool

L'alcool est un liquide transparent, incolore, lorsqu'il est pur, d'une odeur aromatique particulière et d'une saveur brûlante. Sa densité est inférieure à celle de l'eau 0,795. La densité de sa vapeur est supérieure à celle de l'air 1,613. L'alcool bout à 78,41. Il ne s'est jamais

solidifié à quelque froid et quelque pression qu'on l'ait soumis. Il est très-avide d'eau et se combine à ce corps avec diminution de volume du mélange et élévation de température.

L'alcool ne dissout pas facilement les sels, mais c'est un des meilleurs dissolvants des résines, des corps gras, des essences, des alcaloïdes en général.

Action de l'oxygène. — L'oxygène n'agit pas directement sur l'alcool, mais en présence de certains corps tels que une spirale de platine (1), le *mycoderma aceti* ; en combinaison sous forme d'agent oxydant, il le transforme en acide acétique. Le résultat final de la transformation est très-simple, il consiste uniquement dans l'absorption de quatre équiv. d'oxygène

$$C^4H^6O^2 + 4\ O = C^4H^4O^4 + H^2O^2$$

Cependant le passage de l'alcool à l'acide acétique n'est pas aussi simple que semble l'indiquer la formule ci-dessus; car, avant d'absorber l'oxygène, l'alcool perd d'abord deux équiv. d'hydrogène et se change en aldéhyde

$$C^4H^6O^2 - H^2 = C^4H^4O^2$$

C'est alors seulement que l'oxygène est absorbé pour donner naissance à l'acide acétique

$$C^4H^4O^2 + O^4 = C^4H^4O^4 + H^2O^2$$

Il ne faudrait pas croire que l'alcool se transforme ainsi entièrement en acide acétique et que celui-ci soit le seul produit de transformation. Une partie de l'aldehyde

(1) Le noir de platine produit une réaction violente qui quelquefois détermine l'inflammation.

échappe à la réaction. Il y a aussi production d'éther acétique

$$C^8H^8O^4 \text{ ou } (C^4H^5O, C^4H^3O^3),$$

résultat de l'action de l'acide acétique formé sur l'alcool encore non décomposé. On trouve aussi parmi les produits de l'*acetal* $C^{12}H^{14}O^4$ qui paraît prendre naissance par l'union de deux équivalents d'alcool moins deux équivalents d'eau avec un équivalent d'aldéhyde. Ou de un équivalent d'éther et d'un équivalent d'aldéhyde.

$$C^4H^4O^2 \left\{ \begin{matrix} C^4H^6O^2 \\ C^4H^6O^2 \end{matrix} \right\} - H^2O^2 \text{ ou } C^4H^4O^2, C^8H^{10}O^2$$

Action de l'acide sulfurique. — L'action de l'acide sulfurique sur l'alcool varie avec la température. A+70°. Il détermine la formation d'un acide particulier, l'acide *sulfovinique* ($C^4H^6O^2$, $2 SO^3$). Ce corps n'est pas un simple composé d'alcool et d'acide sulfurique anhydre comme on pourrait le supposer d'après sa formule. En effet le sulfovinate de baryte a pour formule BaO, $C^4H^5O,2SO^3$ et ne contient plus alors les éléments de l'alcool. Il vaudrait donc peut-être mieux donner à cet acide la formule HO, $C^4H^5O,2SO^3$.

L'alcool se trouve dédoublé en éther et en eau, ce sont ces produits qui se combinent à l'acide sulfurique pour former l'acide sulfovinique.

Si au lieu d'opérer à 70° on élève la température jusqu'à 140°, on obtiendra pour produit de la distillation un mélange d'eau d'alcool et d'éther.

En portant la température à 160°, l'alcool sera dédoublé en éléments plus simples, l'eau et l'éthylène.

$$C^4H^6O^2 = C^4H^4 + H^2O^2$$

Action des oxacides. — Tous les acides n'exercent pas la même action sur l'alcool. L'acide borique anhydre est le seul avec l'acide sulfurique qui soit susceptible de décomposer l'alcool en éthylène et en eau.

L'acide phosphorique très-concentré et l'acide arsénique peuvent seuls produire des éthers.

Enfin il n'y a que les acides polyatomiques qui puissent donner naissance à des acides viniques.

Presque tous les oxacides dédoublent l'alcool en éther et en eau et donnent en s'unissant au premier des *éthers composés.* Ces éthers sont de véritables sels ou l'éther joue le rôle de base. Ainsi l'éther acétique ($C^8H^8O^4$ ou C^4H^5O, $C^4H^3O^3$) n'est autre chose qu'un acétate d'éther.

Action des hydracides. — Si l'on fait réagir un hydracide sur l'alcool, l'élément électronégatif se substitue équivalent à équivalent à l'hydrogène de l'alcool ; et cet hydrogène naissant ainsi que celui de l'hydracide s'unissent aux deux équivalents d'oxygène de l'alcool. Il en résulte de l'eau et un éther haloïde.

$$C^4H^6O^2 + HCl = C^4H^5Cl + H^2O^2$$

Action du chlore. — Le chlore en agissant sur l'alcool étendu le transforme d'abord en aldéhyde.

$$C^4H^6O^2 + H^2O^2 + Cl^2 = 2HCl + H^2O^2 + C^4H^4O^2$$

Si l'on continue l'action du chlore, elle s'exerce alors sur l'aldéhyde et donne comme produit le *chloral* employé dans ces derniers temps sur une si grande échelle.

$$C^4H^4O^2 + 3Cl^2 = 3HCl + C^4HCl^3O^2$$

Le chloral, sous l'influence des alcalis se transforme en chloroforme et en formiate alcalin.

$$C^4HCl^3O^2 + KO,HO \quad C^2HKO^4 + C^2HCl^3$$

Action des métaux alcalins. — L'alcool peut encore donner naissance à des composés particuliers en s'unissant à certains métaux. Ainsi lorsqu'on chauffe de l'alcool anhydre avec du sodium ou du potassium, un équivalent du métal se substitue à un équivalent d'hydrogène qui se dégage et il se forme un corps nouveau, alcoolat ou éthylate alcalin.

$$C^4H^6O^2 + K = C^4H^5KO^2 + H.$$

L'alcool a une température élevée vers 500°, par exemple il brûle en donnant de l'acide carbonique et de l'eau.

$$C^4H^6O^2 + O^{12} = 2C^2O^4 + 3H^2O^2$$

Si l'action de la chaleur s'exerce en présence des alcalis, il s'oxyde et produit un acétate alcalin.

$$C^4H^6O^2 + NaO,\ HO = NaO,\ C^4H^3O^3 + 4H.$$

Propriétés physiologiques et thérapeutiques. — Il ne m'appartient pas d'entrer ici dans de longs détails sur l'usage de l'alcool au point de vue alimentaire. Chacun connaît les services qu'il peut rendre à petites doses et les accidents qu'il peut déterminer chez les personnes qui en font un usage immodéré et prolongé.

A faibles doses il stimule le tube digestif et augmente la production du suc gastrique, de la salive et facilite la digestion. Il active la circulation. Sous son influence l'excrétion de l'acide carbonique et de l'urée est sensiblement

diminuée. C'est un anti-déperditeur ou médicament d'épargne.

Son usage prolongé détermine la gastrite chronique (pituite) qui peut quelquefois se compliquer d'ulcères de l'estomac par suite d'une dégénérescence graisseuse.

Son action sur le foie est manifeste. La cirrhose de cet organe est extrêmement fréquente chez les ivrognes. Les Anglais désignent cette maladie sous le nom gin drinker's liver (foie des buveurs de gin).

Il serait trop long d'énumérer toutes les maladies qui se développent par l'abus de l'alcool ; mais je ne saurais passer sous silence le *delirium tremens*.

Les empoisonnements par l'alcool sont relativement rares : cependant on rencontre des cas de mort survenue à la suite d'ivresse profonde. Les premiers symptômes sont l'indigestion, les vomissements, la diarrhée. L'individu reste immobile, la face ordinairement pâle, la respiration stertoreuse. Il se produit une ischémie cérébrale qui se généralise, le bulbe paralysé cesse de fonctionner et la mort survient par asphyxie.

L'alcool a rendu et rend plus que jamais des services signalés comme agent thérapeutique. Il facilite la guérison des plaies, diminue les hémorrhagies et constitue un mode de pansement favorable.

Pris à hautes doses, il déprime le système nerveux, abaisse d'une façon notable la température et comme tel, il est employé dans les maladies fébriles aiguës et dans les phlegmasies comme la pneumonie. Dans ce cas il doit être administré à la dose de 100 grammes au moins.

L'alcool a été préconisé à hautes doses, mais sans avantage dans le choléra.

Vu et permis d'imprimer,	Vu à imprimer
le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,	*Le Directeur,*
A. MOURIER.	BUSSY.



517 — Abbeville. — Imprimerie Briez, C. Paillart et Retaux.
804 7